

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО НОРМИРОВАННОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. Развитие современных систем управления требует поиска оптимальных условий проектирования на основе методов и программных продуктов, позволяющих идентифицировать, прогнозировать и моделировать поведение объекта в различных режимах. В работе рассматривается применение экспериментально-аналитического метода параметрической идентификации переходной характеристики и построение математической модели с помощью программных продуктов Microsoft Excel, MatLab и Step 7 (TIA PORTAL). В качестве технологического объекта управления выбран вентилятор главного проветривания шахты уральского ГОКа. Проведена сравнительная оценка адекватности математической модели, реализованной с помощью различных программных продуктов, по величине ошибки относительной аппроксимации.

Ключевые слова: объект управления, методы идентификации, математическая модель, программный продукт.

Abstract. The development of modern control systems requires a search for optimal design conditions based on methods and software products that allow identifying, predicting and modeling the behavior of an object in various modes. The paper considers the application of the experimental-analytical method of parametric identification of the transient response and the construction of a mathematical model using Microsoft Excel, MatLab and Step 7 (TIA PORTAL) software products.

The main ventilation fan for the mine of the Ural GOK was selected as a technological control object. A comparative assessment of the adequacy of the mathematical model, implemented with the help of various software products, was carried out by the magnitude of the relative approximation error.

Key words: control object, identification methods, mathematical model, software product.

Введение. Проектирование систем управления сложными технологическими объектами предполагает анализ их поведения в различных режимах работы. Большой интерес представляет поведение объекта во временной области (изменение температуры в печи при изменении подачи топлива, изменение положения механической системы под действием управляющего воздействия и т.д.) Для анализа динамического поведения объекта находится передаточная функция и ее параметры. С этой целью строится экспериментальная кривая разгона $y(t)$ с помощью единичного ступенчатого сигнала в качестве входного воздействия. Кривая разгона характеризует инерционные свойства объекта, а ее вид позволяет идентифицировать передаточную функцию и определить параметры, которые являются исходными

данными при синтезе данного объекта. К основным параметрам относятся постоянная времени объекта (постоянная разгона) T_o , запаздывание t_z , коэффициент передачи $K_{об}$.

В данной работе рассмотрено применение экспериментально-аналитического метода параметрической идентификации переходной характеристики и построение математической модели с помощью программных продуктов Microsoft Excel, MatLab и Step 7 (TIA PORTAL).

В качестве технологического объекта управления выбран вентилятор главного проветривания шахты ГОКа. Проведена сравнительная оценка адекватности математической модели, реализованной с помощью различных программных продуктов, по величине ошибки относительной аппроксимации.

Общие положения проектирования систем управления объектами. Определение оптимальных условий проектирования систем управления объектами осуществляется по классической методике:

- определение математической модели объекта;
- проведение параметрической идентификации, заключающейся в определении числовых параметров математической модели;
- осуществление визуализации математической модели с помощью программных средств;
- вариация параметров и подготовка рекомендаций для выбора оптимальных условий.

Для анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ) используется несколько типовых моделей [1, 2]:

- модели, описывающие непрерывные системы (линейные дифференциальные уравнения, передаточные функции, модель в пространстве параметров состояния);
- модели, описывающие дискретные системы (линейные разностные уравнения, дискретные передаточные функции, модель в пространстве параметров состояния);
- модели, описывающие нелинейные системы;
- стохастические модели.

Идентификация технологических объектов осуществляется достаточно большим количеством методов, хорошо описанных в литературе [3-5]. Наиболее распространенными в применении являются: аналитический метод идентификации; экспериментально-аналитический метод идентификации; метод Симою; идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике; частотный метод; метод регрессионного анализа; метод корреляционного анализа; метод наименьших квадратов.

Для построения математической модели используются доступные программные продукты, такие как Classic, MatCad, Microsoft Excel, MatLab, Electronics Workbench, Python, Step 7 (TIA PORTAL) и др. Применение программных продуктов, с одной стороны, значительно упрощает расчетную задачу, с другой позволяет максимально сформировать понятийный аппарат процесса идентификации, объединить теорию и практику при проектировании

оборудования. Выбор того или иного программного продукта определяется задачей, поставленной разработчиками систем автоматизации.

Математическая модель объекта управления. В качестве объекта управления рассмотрели проектируемую вентиляторную установку главного проветривания, состоящую из частотного преобразователя (ЧП), асинхронного электродвигателя (АЭД), электромеханического привода (ЭП), реверсивного осевого одноступенчатого вентилятора (ОВ).

Идентификацию объекта проводили путем получения передаточной функции, используя данные переходного процесса. Кривую разгона $y(t)$ снимали с датчика скорости вращения вентилятора от момента подачи управляющего воздействия до набора максимальной скорости. Кривую разгона снимали в двух режимах: из состояния покоя и от начальной скорости 100 об/мин до набора максимальной скорости 700 об/мин по следующим данным: число точек в массиве $n = 19$, шаг по времени $\Delta t = 4$ с, приращение выходной величины в интервале $10 \leq \Delta y \leq 720$ об/мин.

Далее сравнили характер изменения во времени полученной кривой разгона с одной из типовых. По результатам сравнения кривую разгона аппроксимировали инерционным звеном первого порядка, описываемым дифференциальным уравнением вида:

$$T_0 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_{об} \cdot x(t - t_3) \quad (1)$$

Типовая передаточная функция инерционного звена первого порядка является искомой математической моделью системы, удовлетворяющей условию максимального приближения к реальной зависимости выходной переменной от входного параметра. В качестве математической модели кривой разгона выбрали решение дифференциального уравнения (1):

$$y(t) = K_{об} \cdot A \cdot (1 - e^{-\left(\frac{t-t_3}{T_0}\right)}) \quad (2)$$

Параметрическая идентификация динамической характеристики объекта. Используя данные экспериментальной выборки, нашли числовые параметры математической модели (2), приведя экспериментальную кривую разгона к нормализованному виду [6]:

$$h(t) = \frac{y(t)-y(0)}{y(\infty)-y(0)} \quad (3)$$

На кривой разгона выбрали две точки из условия: 1 точка $h_1 - y(t_1) = 0,05 y(\infty)$; 2 точка $h_2 - y(t_2) = 0,8-0,9 y(\infty)$. По формуле (3) рассчитали значения h_1 и h_2 через которые проходит экспоненциальная кривая с параметрами T_0 , t_3 ,

Данные параметры рассчитали по формулам:

$$t_3 = \frac{t_2 \cdot \ln(1-h_1) - t_1 \cdot \ln(1-h_2)}{\ln(1-h_1) - \ln(1-h_2)} \quad (4)$$

$$T_0 = -\frac{t_1 - t_3}{\ln(1-h_1)} = -\frac{t_2 - t_3}{\ln(1-h_2)} \quad (5)$$

Коэффициент передачи рассчитали по формуле:

$$K_{об} = \frac{Y_{кон} - Y_{нач}}{\Delta X_{вх}} \quad (6)$$

В уравнение (2) подставили полученные значения $K_{об}$, T_o , t_3 и значения времени с шагом $\Delta t = 4$ с, и получили теоретическую кривую разгона.

Построение и визуализация математической модели с помощью программных продуктов. Математическую модель реализовали с помощью трех программных продуктов и оценили ее адекватность по величине ошибки относительной аппроксимации.

Сначала экспериментальную и теоретическую кривую разгона построили в Microsoft Excel для первого режима (рис. 1).

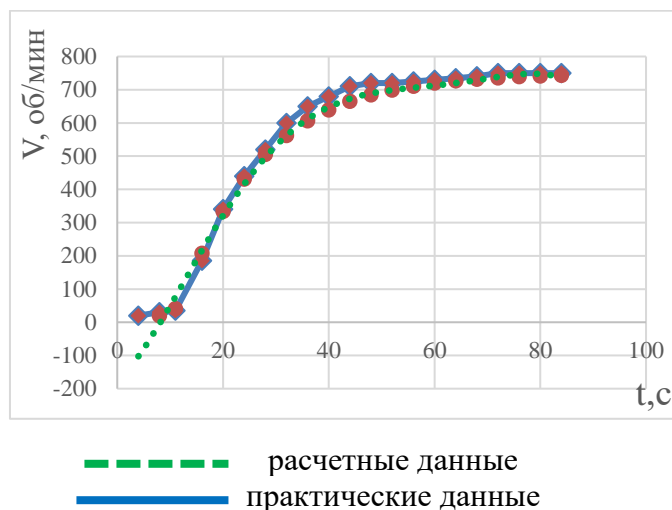


Рис. 1. Переходные характеристики

Из рисунка 1 видно, что теоретическая кривая разгона, построенная по математической модели (2), отличается от экспериментальной кривой разгона. Для оценки адекватности математической модели рассчитали ошибку относительной аппроксимации расчётной и экспериментальной переходных характеристик:

$$\bar{A} = \frac{\sum \frac{y_i - y}{y_i}}{n} \cdot 100\% \quad (7)$$

Величина ошибки составила 6,5%.

Аналогичную задачу моделирования переходной характеристики решили в среде Simulink программы MatLab. С этой целью использовали передаточную функцию аperiodического звена первого порядка:

$$W(s) = \frac{K_{об}}{T_o \cdot s + 1} \cdot e^{-t_3 \cdot s} \quad (8)$$

Подставив в уравнение (8), предварительно рассчитанные параметры $K_{об}$, T_o , t_3 , получили график рассчитанной аппроксимирующей переходной характеристики (рис. 2).

Дополнительно на рисунке 2 представлены точки экспериментально снятой переходной характеристики.

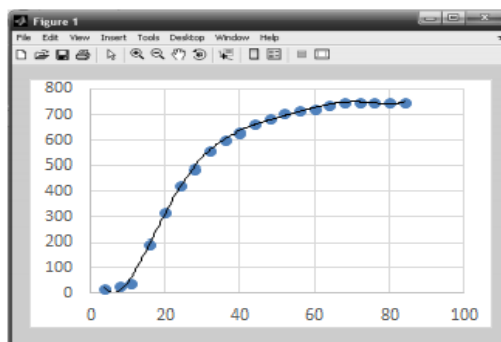


Рис. 2. Результаты аппроксимации переходной характеристики аperiodического звена первого порядка

Величина ошибки относительной аппроксимации расчётной и экспериментальной переходных характеристик составила 1,5 %.

Варьируя величины значений параметров $K_{об}$, T_o , t_z и размерность передаточной функции можно обеспечить максимальную близость экспериментальной кривой разгона и кривой разгона, соответствующей передаточной функции (8).

Далее для построения математической модели использовали специализированный программный продукт Step 7 (TIA PORTAL), применяемый для программирования контроллера Simatic S7 - 1200 (1500) [7,8]. Переходную характеристику снимали в режиме реального времени с контроллера Simatic S7 - 1200 (1500) и в режиме имитации, введя с помощью редактора программ TIA PORTAL в ручном режиме рассчитанные параметры $K_{об}$, T_o , t_z (рис. 3).

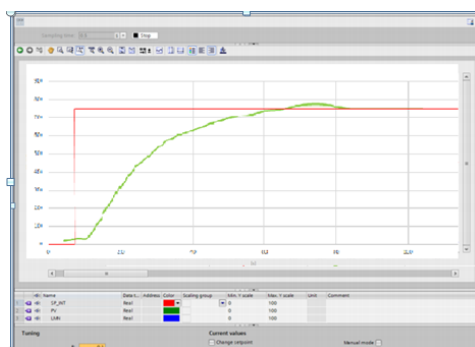


Рис. 3. Переходная характеристика звена первого порядка в Step 7 (TIA PORTAL)

В режиме реального времени контроллер с помощью универсального ПИД-регулятора обеспечивает автоматическое создание технологического объекта с интегрированной самонастройкой в автоматическом и ручном режимах.

Для работы ПИД-алгоритма временной интервал масштабировали по времени миллисекундами. ПИД-алгоритм работает следующим образом. Текущее значение переходной характеристики вычисляется во время самонастройки и округляется до значения, кратного времени цикла. Время цикла

является временем выборки ПИД-алгоритма и представляет собой время между двумя вычислениями переходной характеристики в интервале масштабирования. Для увеличения точности возможно применение масштабирования по времени микросекундами.

Смоделированная кривая разгона полностью соответствует экспериментальной кривой разгона.

Заключение. Используя экспериментальные данные, построен график кривой разгона вентиляторной установки. Проведена идентификация объекта управления дифференциальным уравнением первого порядка. Параметрическая идентификация динамической характеристики проведена экспериментально-аналитическим методом. Математическая модель реализована с помощью Microsoft Excel, MatLab Step 7 (TIA PORTAL). Результаты моделирования характеризуют адекватность аппроксимирующей математической модели и достаточное ее качество.

Экспериментально-аналитический метод определения числовых параметров математической модели и программные продукты Microsoft Excel, MatLab целесообразно использовать при упрощенном, приближенном анализе и синтезе ОУ и моделировании САУ, а также для решения учебных задач.

Программный продукт Step 7 (TIA PORTAL) целесообразно применять при проектировании реальных технологических ОУ, использующих контроллеры Simatic S7.

Список использованных источников

1. Егоров, К.В. Основы теории автоматического регулирования: учебное пособие / К.В. Егоров – М.: Энергия, 2007. – 456 с.
2. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: учебное пособие для втузов. 2-е издание, переработанное и дополненное / Е.П. Попов – М.: Наука, 2007. – 432 с.
3. Толкачев В.О. Методы идентификации одномерных линейных динамических систем: учебное пособие / В.О. Толкачев, Т.В. Ягодкина – М.: МЭИ, 2007. – 489 с.
4. Лисиенко В.Г. Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств: монография: в 3 томах / В.Г. Лисиенко, Ю.В. Крюченков. Т. 3, кн. 3: Нечеткая логика, методы идентификации, локальные САР, развитие методов расчета – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2017. – 531 с.
5. Narendra K. S. Identification and control of dynamical systems using neural networks / K.S. Narendra, K. Parthasarathy – IEEE Transactions on Neural Networks. – 2000. – 27 p.
6. Чесноков, Ю.Н. Проектирование локальных систем управления АСУ ТП: методические указания / Ю.Н. Чесноков, В.Б. Щербатский. Свердловск: УИ, 1991 – С. 14 – 19.
7. Руководство по программированию S7 –1200/S7 – 1500 STEP 7 (TIA Portal) и STEP 7 Safety в TIA Portal: сайт:

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6f74436a53942bf8f1c7b6ed34d2ae72e92ed8a8/version:1514397880/programming-guideline-v14-rus.pdf> (дата обращения: 29.08. 2020).

8. S7 Программируемый контроллер S7 – 1200 (1500) Системное руководство: сайт: <https://www.prosoft.ru/cms/f/464634.pdf> (дата обращения: 29.08. 2020).

УДК 004.94

Г. В. Макаров¹, А. С. Саламатин¹, М. В. Ляховец², Н. В. Скударнова¹

¹ ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

² ГПОУ «Кузбасский колледж архитектуры, строительства и цифровых технологий», г. Новокузнецк, Россия

СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрена задача совместного моделирования логических состояний технологического оборудования и связанных с ним протекающих производственных процессов. Основными функциями систем логического управления оборудованием являются диагностика состояний оборудования и формирование информационных и аварийных признаков по совокупности дискретных физических сигналов, в зависимости от которых происходит запуск, останов, экстренный останов или другие операции. Для моделирования таких логических состояний оборудования предложено использовать язык булевой логики, которая отражает способ восприятия управляемого оборудования программируемыми логическими контроллерами. Работа оборудования связана с изменением технологических переменных, представляющих собой аналоговые сигналы измерения физических величин. Предложено учитывать связи между моделями динамического моделирования и конструкторских моделей, относящимися к одному или нескольким связанным агрегатам. Рассматриваемые объединенные модели предлагается использовать для тестирования и наладки систем логического управления, виртуальной пусконаладки, настройки алгоритмов регулирования и построения цифровых натурно-модельных двойников сложных систем.

Ключевые слова: моделирование процессов, натурно-модельный подход, цифровые двойники, системы логического управления.

Abstract. The paper considers the problem of joint simulation of the logical states of technological equipment and related flowing production processes. The main functions of logical control systems of equipment are diagnostics of equipment states and formation of information and alarm signs by a set of discrete physical signals, depending on which start, stop, emergency stop or other operations occur. To model such logical states of equipment, it has been proposed to use the Boolean logic language, which reflects the way the programmable logic controllers perceive the controlled equipment. Equipment operation is related to changes in technological variables, which are analog signals measuring physical quantities. It is proposed to take into account the links between dynamic simulation models and design models relating to one or more related units. It is proposed to use the considered combined models for testing and adjustment of logical control systems, virtual commissioning, adjustment of control algorithms and construction of digital natural-model twins of complex systems.